

NOTA

MONITORING “BROERSBANK”

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	212176
Titel	Monitoring Broersbank – concept modellering
Document nr.	Broersbank_212176_N02
Auteur	Homayoon Komijani / Hana Ortega Yamamoto
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu
Date	31/01/2014 draft versie 06/06/2014 pre-finale versie 17/10/2014 finale versie

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	4
1.1.	<i>Opzet.....</i>	4
1.2.	<i>Te simuleren periode.....</i>	5
1.3.	<i>Gebruikte windvelden</i>	5
1.4.	<i>Validatie.....</i>	5
2.	STRUCTUUR VAN DE MODELLEN	7
2.1.	<i>Gebruikte modellen.....</i>	7
2.1.1.	<i>Golfmodellen WAM en SWAN.....</i>	7
2.1.2.	<i>COHERENS stromingsmodel.....</i>	7
2.2.	<i>Koppeling van modellen en geneste roosters</i>	7
2.2.1.	<i>Model roosters voor COHERENS</i>	7
2.2.2.	<i>Model roosters voor WAM en SWAN.....</i>	8
2.2.3.	<i>De koppeling</i>	11
3.	VALIDATIE.....	13
3.1.	<i>Definitie gebruikte golfparameters.....</i>	13
3.2.	<i>Gebruikte statistische parameters voor calibratie en validatie model.</i>	13
3.3.	<i>Gebruikte gegevens voor de validatie van het golfmodel.....</i>	14
3.4.	<i>Enkele resultaten</i>	14
4.	SAMENVATTING, CONCLUSIES EN VERDERE STAPPEN.....	17
5.	REFERENTIELIJST	18

LIJST FIGUREN

Figuur 1. De geneste roosters voor het hydrodynamisch model	8
Figuur 2. Grof en medium WAM rooster	9
Figuur 3. SWAN kuststrookmodel met aanduiding van de randvoorwaardepunten (merk op dat de bathymetrie in het westen van het model een door SWAN aangemaakte artificiële extrapolatie is van de westrand van de Marebasse bathymetrie). De coördinaten zijn weergegeven in Tabel 3.....	11
Figuur 4. Opzet van modelstructuur met uitwisseling van informatie (B.C. = boundary conditions (randvoorwaarden))	12
Figuur 5. Golfhoogte berekend met WAM fijn rooster versus metingen op Westhinder.....	14
Figuur 6. Vergelijking van gesimuleerde waterstand met de observaties op locatie Westhinder.....	15
Figuur 7. Golfhoogte berekend met SWAN fijn rooster versus metingen op Trapegeer.	16

LIJST TABELLEN

Tabel 1 Karakteristieken van de verschillende rekenroosters (voor de sferische grids geven dx en dy benaderende afmetingen voor de resolutie van het rekenrooster ter hoogte van het Belgisch Continentaal Plat).....	19
Tabel 2. Statistische parameters model WAM medium rooster op locatie Westhinder.	20
Tabel 3 Coördinaten van de 10 randpunten in het SWAN kuststrookmodel. De randpunten zijn ook aangeduid in Figuur 3.	21

1. INLEIDING

1.1. Opzet

Het ophogen van zandbanken is één van de belangrijke deelprojecten van het vlaggenschipproject Vlaamse Baaien en één van de belangrijke hoofdstukken van het Masterplan 2050. Op dit ogenblik is er echter een leemte in de kennis waardoor het niet mogelijk is te besluiten of het ophogen van zandbanken al dan niet een efficiënte maatregel is om de kustveiligheid te verhogen. Het is daarom noodzakelijk dat men bepaalt in welke mate ondiepe (al dan niet artificieel verhoogde) zandbanken voor de kust een dempend effect (kunnen) hebben op (super)stormgolven die de kust bereiken. Deze (super)stormgolven belasten de zeewering en hun grootte speelt dus een belangrijke rol bij de bepaling van de veiligheid van de Vlaamse kust. De studie bestudeert de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie die zich van offshore over een aantal zandbanken naar onze kust toe beweegt, enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van spectrale golfmodellen. De studie wordt uitgevoerd om het effect op de golfvoortplanting over ondiepe banken beter te begrijpen, waarbij bestaande golfmodellen kunnen getest worden en nieuwe, meer gedetailleerde golfmodellen kunnen ontwikkeld worden. De resultaten van dergelijke studie zijn ook zeer bruikbaar voor de optimalisatie van ontwerpen van maatregelen voor kustverdediging.

Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken. Er werd reeds een eerste nota met betrekking tot de performantie van de metingen en data-acquisitie systeem gemaakt voor de metingen van december 2103. Deze nota heeft betrekking op het concept dat wordt uitgewerkt om de modellering te doen op basis van spectrale golfmodellen.

Het eerste basisidee is om met behulp van modellen de golfenergie in het volledige Belgische kustgebied te simuleren met bijzondere aandacht voor de zone van de Westkust waar de boeien zijn uitgelegd. Indien het modelleerwerk perfect en de metingen perfect zouden zijn, dan zouden de metingen en de resultaten van het model perfect moeten overeenkomen. Dit is natuurlijk niet het geval. We nemen aan dat de metingen 'beter' zijn dan het model en we proberen het model zo aan te passen dat de modelresultaten zo goed mogelijk de metingen benaderen door te sleutelen aan verschillende deelcomponenten van het model. Componenten van een model zijn zowel de input die nodig is zoals wind, bathymetrie, randvoorwaarden (golfcondities op de rand van het model), enz., als de wiskundige formuleringen voor de fysische processen die plaatsvinden zoals o.a. diepte-geïnduceerde breking, bodemwrijving. Noteer dat in de wiskundige formulering van een fysisch

proces vaak ook nog parameters gekalibreerd worden (bijvoorbeeld de wrijvingsparameter zal afhangen van de bodemkarakteristieken).

Het tweede basisidee is dat we na het afstellen van de modellen scenario's kunnen bedenken die aangeven in welke mate zandbanken onze kusten 'beschermen' door veranderingen aan te brengen in de bathymetrie (bijvoorbeeld door een zandbank weg te nemen of te verhogen). We verwachten immers dat een model dat de huidige toestand op een betrouwbare manier reproduceert, ook betrouwbaar resultaten zal opleveren om effecten van dergelijke scenario's in te schatten.

1.2. Te simuleren periode

Het is de bedoeling om de volledige periode van de meetcampagne te simuleren met bijzondere aandacht voor de evenementen met hoge energie (stormen zoals de Sinterklaasstorm) en evenementen waarbij bepaalde energetische processen dominant aanwezig zijn (bijvoorbeeld golfbreking op de banken bij lage waterstand). De berekeningen zullen met enige vertraging in de tijd gebeuren omdat de windvelden die gaan gebruikt worden slechts beschikbaar worden gesteld met enkele maanden vertraging (zie sectie 1.3).

1.3. Gebruikte windvelden

ERA-Interim windvelden zijn gekend om hun hoge kwaliteit en zijn vrij beschikbaar via de [ECMWF website](#). In een vorig project (BOREAS) werden UKMO windvelden gebruikt (verkregen via BMM, partner in dat onderzoeksproject). Toen waren er verschillende praktische problemen, zoals korte periodes met niet beschikbare windvelden en/of corrupte data.

Voor de simulaties binnen dit project worden uit de ERA-Interim data de atmosferische druk en de windvectoren op 10m hoogte gebruikt. Gezien er via het meetnet Vlaamse Banken windmetingen beschikbaar zijn in het gemodelleerde gebied (o.a. op Westhinder), lijkt het logisch dat die metingen mee in beschouwing genomen worden.

1.4. Validatie

Voor onze onderzoeksgroep, is het de eerste keer dat voor de simulaties van golven gebruik gemaakt zal worden van de ERA-Interim windvelden. Door de hogere ruimtelijke resolutie in vergelijking met de UKMO windvelden is te verwachten dat er mogelijks andere correctiefactoren moeten ingevoerd worden dan voor de UKMO windvelden die voor vroegere studies zoals het BOREAS Project bij [Mathys et al. \(2011\)](#) gebruikt werden. Voor de kalibratie en validatie van het modelsysteem zal daarom eerst een vroegere periode worden gesimuleerd. Voor de vroegere periodes beschikken we dan zowel over de gesimuleerde resultaten met de UKMO windvelden als die met de ERA-Interim velden wat een onderlinge vergelijking mogelijk maakt. We verwachten immers ook dat de ERA-

Interim winden iets nauwkeurigere simulaties zal opleveren. Als vergelijkingspunt worden de golfmetingen op Westhinder gebruikt aangezien deze ook dienen als randvoorwaarde voor de fijnere resolutie kustmodellen, zie ook sectie 2.

2. Structuur van de modellen

2.1. Gebruikte modellen

2.1.1. Golfmodellen WAM en SWAN

Het spectraal golfmodel WAM V4.5.3 (Günther, H. and A. Behrens, persoonlijke communicatie, Mei 2012) wordt gebruikt voor de simulaties op het grote gebied van de Noordzee. De WAM code is efficiënt qua rekentijd en bevat alle nodige fysica voor oceanen en randzeeën.

Dicht bij de kust wordt geopteerd voor het SWAN40.91 model (gedownload van de SWAN webpagina), ontwikkeld door TU Delft. Het SWAN model is specifiek ontwikkeld voor toepassingen in kustgebieden en biedt meer keuzemogelijkheden wat betreft ingebouwde formuleringen voor de brontermen die een rol spelen in ondiepe kustgebieden. Het is ook het meest gebruikte model voor dit soort toepassingen.

2.1.2. COHERENS stromingsmodel

COHERENS ([Luyten et al. \(1999\)](#)) is een driedimensionaal numeriek stromingsmodel voor algemeen gebruik in kustgebieden en randzeeën. Het bevat een hydrodynamische module en is gekoppeld met biologische en transportmodellen. Er is steun vanuit Maritieme Toegang voor de verdere ontwikkeling van dit model. Een stromingsmodel wordt gebruikt om in de eerste plaats de waterdieptes aan te passen in het golfmodel. De waterdiepte bepaalt immers in sterke mate de voortplanting en dissipatie van golfenergie. De waterdieptes in onze kustzone zijn sterk onderhevig aan de invloed van het getij en van windopzet en deze schommelingen kunnen berekend worden aan de hand van een stromingsmodel. Noteer het stromingsmodel in 2D-mode wordt gebruikt. Dit wil zeggen dat enkel dieptegemiddelde stroomsnelheden worden gebruikt.

2.2. Koppeling van modellen en geneste roosters

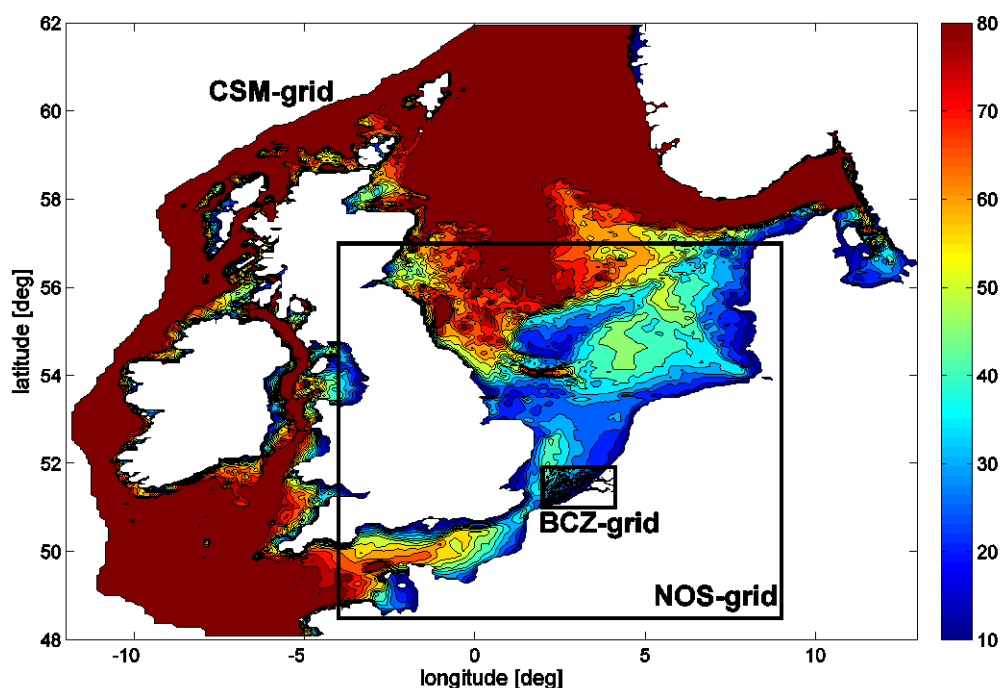
2.2.1. Model roosters voor COHERENS

De Noordzee implementatie van het COHERENS model bevat drie geneste rekerenroosters:

- “optos_csm” model: 2D model omvat het volledige Europese Continentaal Plat
- “optos_nos” model: 3D model voor de Zuidelijke Noordzee maar met dezelfde horizontale resolutie als het optos_csm model

- “optos_bcz” model: 3D model voor het Belgisch Continentaal Plat Belgian Continental Shelf maar met een hogere horizontale resolutie

Deze rekenroosters zijn geïllustreerd in Figuur 1. Details van de karakteristieken van de rekenroosters kan men terugvinden in Tabel 1 (in appendix). Geneste rooster zijn nodig om voldoende ruimtelijke resolutie te hebben in het gebied van interesse. Het fijnste rekenrooster optos_bcz krijgt zijn randvoorwaarden aangeleverd door het optos_nos model, dat op zijn beurt randvoorwaarden krijgt van het optos_csm model. Aan de rand van het optos_csm model worden waterhoogtes opgelegd berekend aan de hand van een aantal harmonische componenten. Alle modellen krijgen als input ook windsnelheden en drukvelden.



Figuur 1. De geneste roosters voor het hydrodynamisch model

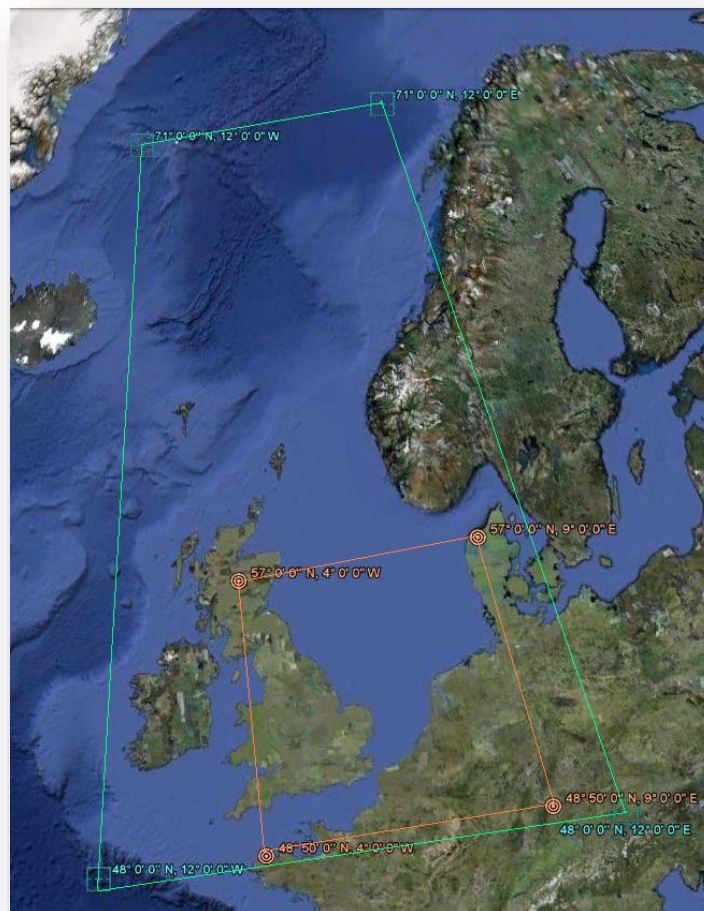
2.2.2. Model roosters voor WAM en SWAN

WAM

Er zijn 3 roosters voor het WAM: een grof (C_24), een medium (N1_24) en een fijn rooster (F1_24). De specificaties zijn eveneens terug te vinden in Tabel 1. Het grof rooster levert randvoorwaarden voor het medium rooster (zie Figuur 2). In het medium rooster kunnen randvoorwaarden aangemaakt worden voor het BCZ WAM en BCZ SWAN (domeinen komen overeen met het BCZ domein voor COHERENS) en voor het SWAN kuststrookmodel (zie verder). Voor dat laatste worden in het medium rekenrooster output gevraagd op ‘artificiële’ boeilocaties om op die manier randvoorwaarden te kunnen opstellen voor het SWAN kuststrookmodel. De afkorting en

coördinaten van alle grenspunten zijn beschikbaar in Tabel 3. Binnen deze studie ligt de focus op de vergelijking van de modelresultaten met de metingen van de boeien specifiek uitgelegd in het kader van deze studie en boeien binnen het Meetnet Vlaamse Banken. Voor deze nota wordt vooral gekeken naar de locatie Westhinder voor de afstelling van de windvelden (zie sectie 1.4).

Noteer dat geen randvoorwaarden worden opgelegd aan het grof WAM-model. Alle golfenergie in het model wordt intern gegenereerd via het opleggen van windvelden (ERA-Interim windvelden afkomstig van ECMWF). Deze windvelden worden trouwens ook opgelegd aan de geneste golfmodellen.

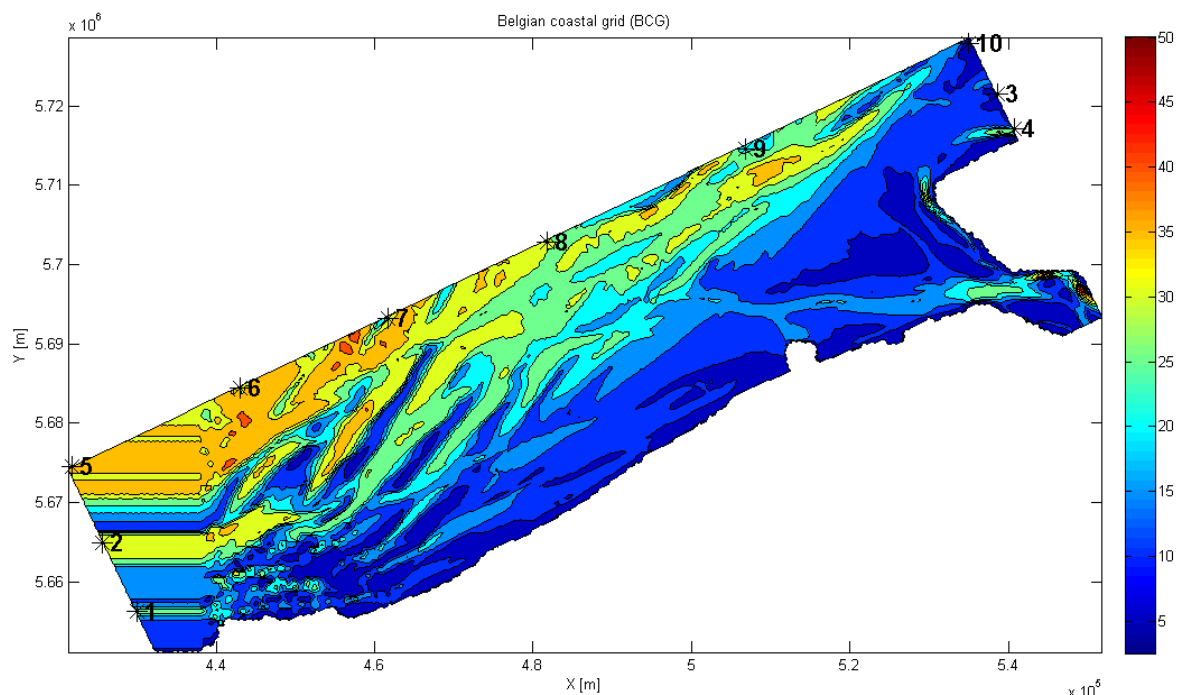


Figuur 2. Grof en medium WAM rooster

SWAN

Er zijn twee rekenroosters beschikbaar voor het SWAN model. Het eerste rooster is identiek aan het fijnste WAM rooster. Het tweede rekenrooster, het SWAN-kuststrookrekenrooster, is een rooster parallel aan de kust, gedraaid over een hoek van 25.5° tegenwijzersin, zie Figuur 3. De implementatie op het gedraaide rekenrooster wordt aangeduid als het “SWAN kuststrookmodel”. Voor beide toepassingen worden de randvoorwaarden geleverd door het medium rooster van WAM zoals aangehaald bij de beschrijving van het WAM model.

Vooraf het kuststrookmodel (Figuur 3) zal in de verdere studie gebruikt worden voor het bestuderen van de dissipatieprocessen in de kustzone, in het bijzonder voor het simuleren van de stormen waarin de golfdissipatieprocessen heel duidelijk zichtbaar zijn in de opgemeten spectra. SWAN gebruikt impliciete rekenschema's voor de berekening van de geografische voortplanting van de golfenergie. Dergelijke rekenschema's zijn numeriek nogal diffusief. Daarom wordt aangeraden om de afstanden voor de voortplanting van golfenergie te beperken. De afstand tot de kust is in het hier opgestelde kuststrookmodel voldoende klein, zodat er kan gefocust worden op de termen die de dissipatie van golfenergie beschrijven (dissipatie door bodemwrijving en door diepte geïnduceerde breking).. Het is ook in dit model dat de meer gedetailleerde en/of recentere bathymetrische opnames zullen ingebracht worden. Het heeft bovendien als groot voordeel dat de mogelijkheid bestaat om op de volledige noordrand het opgemeten spectrum op locatie Westhinder op te leggen (Westhinder ligt op de rand van het rekenmodel). Daarbij verliest men weliswaar gradiënten in golfenergie op de rand, maar is er geen afwijking tussen het opgelegde en gemeten spectrum op locatie Westhinder. In plaats van de ERA-Interim windsnelheden, kunnen hier ook de gemeten windsnelheden (bijv. afkomstig van MP7) opgelegd worden (noteer dat deze laatste gecorrigeerd dienen te worden voor de hoogte van de meting; het golfmodel is opgesteld om te werken met de windsnelheid op 10m hoogte). De golfmodellering beperkt zich dan tot een relatief smalle strook evenwijdig met de kust. Merk op dat het wel noodzakelijk blijft om via de koppeling met het stromingsmodel (zie hieronder) de in de tijd veranderende waterdieptes aan te leveren zodat de golfvoortplanting berekend wordt met zo correct mogelijke waterdieptes.

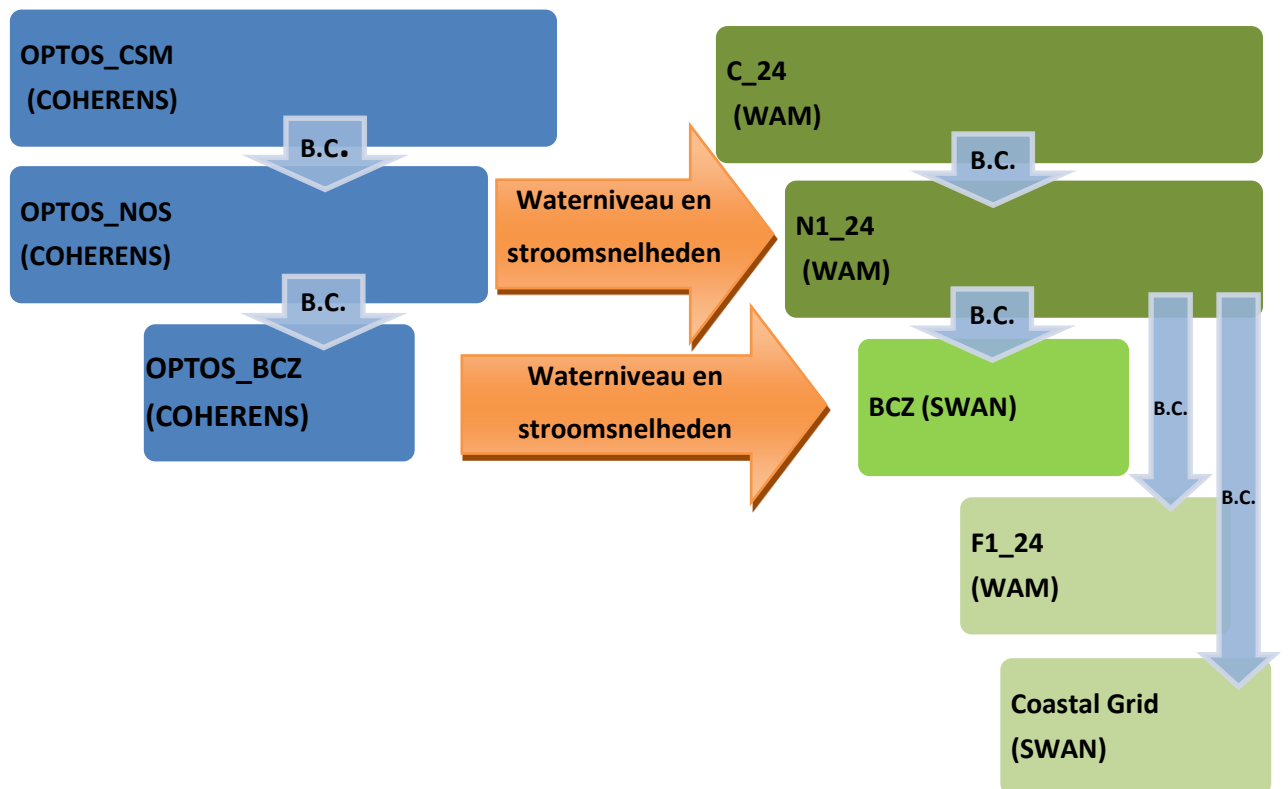


Figuur 3. SWAN kuststrookmodel met aanduiding van de randvoorwaardepunten (merk op dat de bathymetrie in het westen van het model een door SWAN aangemaakte artificiële extrapolatie is van de westrand van de Marebasse¹ bathymetrie). De coördinaten zijn weergegeven in Tabel 3.

2.2.3. De koppeling

Zoals hierboven aangehaald zijn er drie niveaus in de modelstructuur, zie ook Figuur 4. Op het eerste niveau wordt het volledige Europees Continentaal Plat gesimuleerd met nog een verder uitbreiding naar het noorden voor het WAM model teneinde ook daar de deiningsenergie te kunnen oppikken dat zich mogelijks voortplant naar de Belgische kust. Dit niveau wordt ruimtelijk verfijnd in een tweede niveau zodat er randvoorwaarden kunnen gegenereerd worden voor de golf- en stromingsmodellen die meer gedetailleerd de hydrodynamische processen voor onze kust moeten modelleren. Er is er een directe koppeling tussen het stromingsmodel en het gebruikte golfmodel uitgenomen voor het grofste rooster.

¹ Marebasse (Management, Research and Budgeting of Aggregates in Shelf Seas related to End-users) was een onderzoeksproject gefinancierd door BELSPO (<http://users.ugent.be/~vylancke/Marebasse/>)



Figuur 4. Opzet van modelstructuur met uitwisseling van informatie (B.C. = boundary conditions (randvoorwaarden))

Zoals al boven aangehaald, geeft Tabel 1 in appendix een overzicht van de specificaties van de gebruikte grids bij de verschillende modellen. Alle modellen gebruiken een sferisch coördinatensysteem met uitzondering van het SWAN kuststrookmodel dat een Cartesiaans grid in UTM31 gebruikt. De aangegeven afstanden zijn daarom benaderend voor de sferische coördinatensystemen.

3. Validatie

3.1. Definitie gebruikte golfparameters

De golfparameters gebruikt in deze studie worden afgeleid uit het spectrum. Om onderstaande definities te begrijpen wordt eerst het begrip moment m_x van een energiespectrum gedefinieerd.

$$m_x = \int f^x E(f) df ; [m]$$

$E(f)$ is daarbij de energieinhoud van het spectrum (in m^2s) bij een bepaalde frequentie f .

Met deze definitie kunnen dan gemakkelijk andere parameters gedefinieerd worden.

H_s : significante golfhoogte gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum.

$$H_s = 4\sqrt{m_0} ; [m]$$

T_m is een gemiddelde periode gebaseerd op m_{-1} . Het is een vrij robuuste parameter voor de golfperiode omdat lagere frequenties zwaarder doorwegen.

$$T_m = \frac{m_{-1}}{m_0} ; [s]$$

T_{m1} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_1 .

$$T_{m1} = \frac{m_0}{m_1} ; [s]$$

T_{m2} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_2 . Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde 'zero upcrossing period', een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van golfboeismignalen.

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} ; [s]$$

3.2. Gebruikte statistische parameters voor calibratie en validatie model.

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden weerhouden om modelresultaten en meetgegevens te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i) ; \text{Bias}$$

$$SI = \frac{RMSE}{|\bar{x}|}; \text{ Scatter index.}$$

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left\{ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}; \text{ correlatiecoëfficiënt}$$

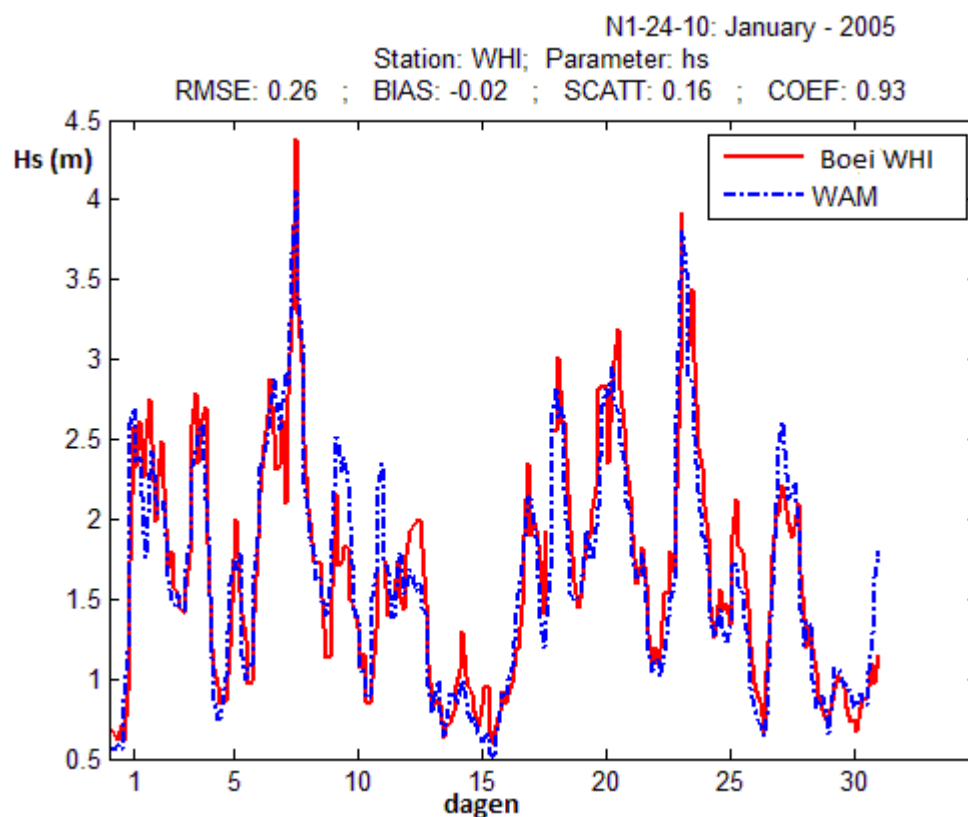
Hierbij wordt met 'y' verwezen naar de boeidata en met 'x' naar de resultaten uit het model.

3.3. Gebruikte gegevens voor de validatie van het golfmodel.

Voor de calibratie/validatie van het model zal enkel naar Westhinder gekeken worden op het medium rooster met een controle op het fijnere rooster. Om toch een idee te hebben over een langere periode wordt het volledige jaar 2005 doorgerekend.

3.4. Enkele resultaten

Vergelijking WAM resultaten met observaties Westhinder

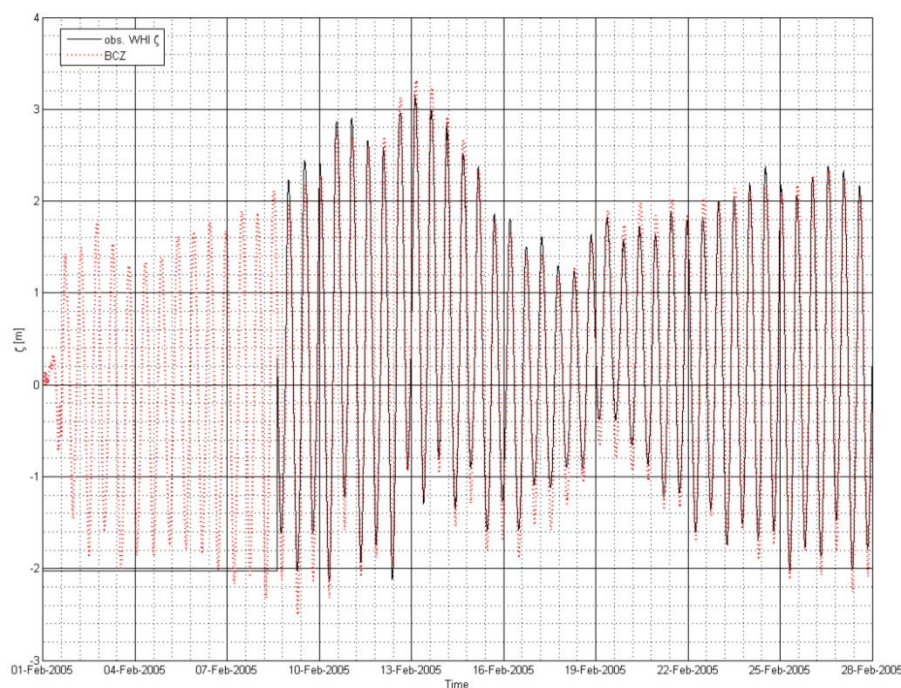


Figuur 5. Golfhoogte berekend met WAM fijn rooster versus metingen op Westhinder.

Er werden twee runs gedaan voor het jaar 2005. Bij de eerste run werden voor de ERA-Interim winden dezelfde windcorrectiefactoren gebruikt als voor de UKMO winden (factor 1.1) in de BOREAS studie ([Mathys et al. \(2011\)](#)). Bij de tweede run werd geen correctiefactor toegepast (factor 1.00). De rekenresultaten werden samengevat in een aantal statistische parameters in Tabel 2 (zie appendix). Bij een windcorrectiefactor van 1.1 worden de golfhoogtes overschat (resultaten niet opgenomen in de tabel), zonder correctiefactor worden ze wat onderschat (negatieve bias). Deze laatste resultaten zijn vergelijkbaar tot iets beter dan de performantie van het WAM model in de BOREAS studie (deze resultaten uit de vroegere studie zijn ook opgenomen in Tabel 2). Verdere calibratie (gebruik van een correctiefactor tussen 1.0 en 1.1) kan dit wellicht nog iets verfijnen. Deze tests zijn nog niet uitgevoerd.

Controle gesimuleerde waterstanden en observaties

De waterstanden komen vrij goed overeen met de opgemeten waterstanden (Figuur 6) zodat we er kunnen vanuit gaan dat deze geschikt zijn voor de modelsimulaties.

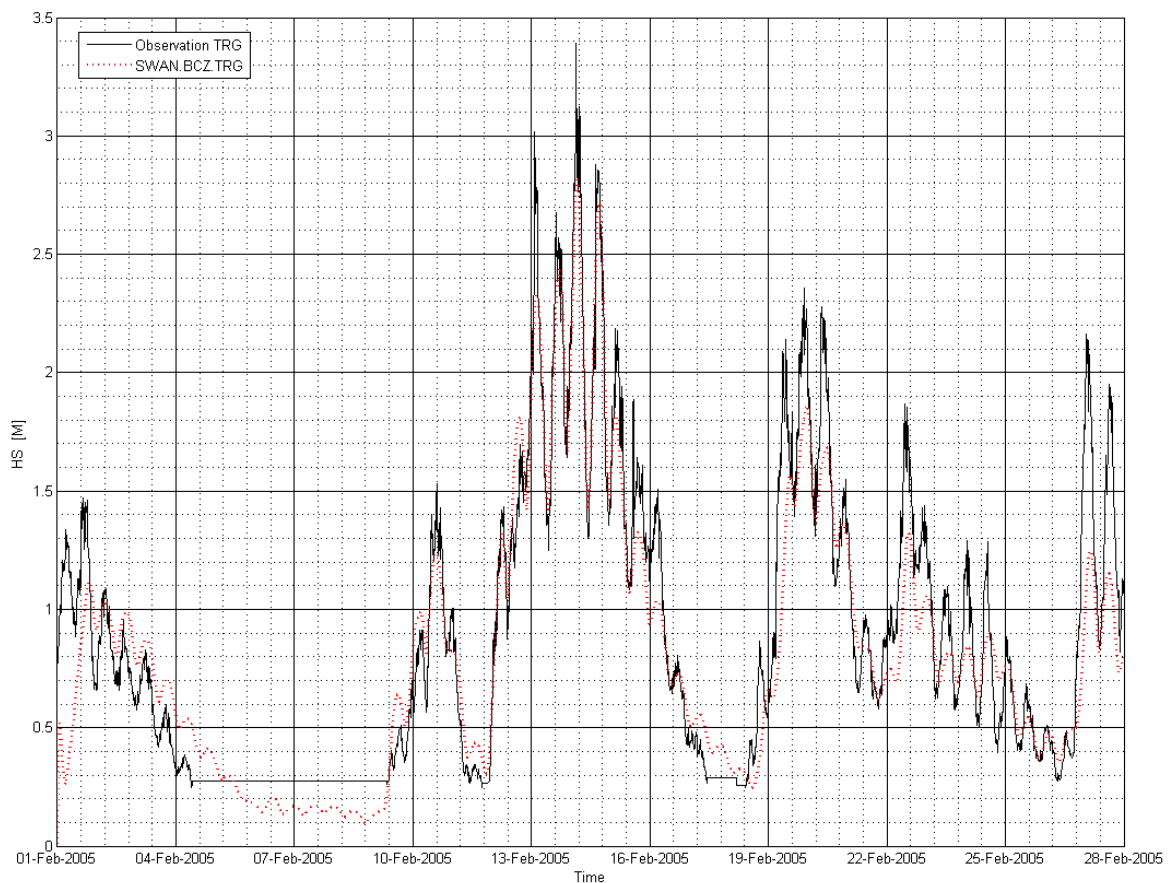


Figuur 6. Vergelijking van gesimuleerde waterstand met de observaties op locatie Westhinder.

Vergelijking SWAN resultaten met observatie in Trapegeer

Om toch al enig idee te hebben, werden ook de metingen op Trapegeer al eens vergeleken met de rekenresultaten uit het geneste SWAN model. Daarbij werden de 'ervaringsparameters' ingesteld voor het SWAN model.

Deze eerste resultaten op Trapegeer tonen aan dat er enerzijds een vrij goede correlatie te zien is en dat de modulatie door het getij vrij goed gevolgd wordt. Anderzijds is het vrij duidelijk dat de gemeten golfhoogtes dikwijls groter zijn (soms aanzienlijk) dan wat door het model berekend wordt met de huidige instellingen en de huidige gebruikte bathymetrie. Verdere afstelling van de modellen zal dus noodzakelijk zijn.



Figuur 7. Golfhoogte berekend met SWAN fijn rooster versus metingen op Trapegeer.

4. Samenvatting, conclusies en verdere stappen

Het opzet van het modelleringswerk en de gebruikte rekenmodellen en rekenroosters werden kort toegelicht. Ook het gebruik van de ERA Interim windvelden werd toegelicht en er werd aangetoond dat een hercalibratie noodzakelijk was.

Op locatie Trapegeer worden de golfhoogtes nog aanzienlijk onderschat. Er is wel aangetoond dat de modellen voor de locatie Westhinder vrij goede resultaten geven toch wat betreft golfhoogte en golfperiode. Nu we dus weten dat de golfrandvoorwaarden alsook de waterstanden al vrij goed gesimuleerd worden kan gewerkt worden aan de uiteindelijke doel van de studie en dat is de golfvoortplanting, golfdissipatie en golfgeneratie processen in de zone tussen Westhinder en de kust zo goed mogelijk te bestuderen. Daarvoor zijn nog een aantal belangrijke stappen nodig:

- Beperkte verdere validatie en verdere automatisering van de geneste modellen gebruik makende van ERA-Interim windvelden. Dergelijke modellentrein is van nut voor langdurige simulaties (bijvoorbeeld voor de bepaling van het golfklimaat in een ruim gebied).
- Verbetering van de bathymetrie in de kustzone. De bathymetrische opmetingen die gebeurd zijn in juni 2013 verschillen aanzienlijk van de gebruikte bathymetrie die was aangeleverd via het Marebasse Project ([Van Lancker et al., 2005](#)). Deze recente opmeting toont een verschuiving van de Trapegeerbank naar de kust toe. Dat er mogelijk een verschuiving en/of versteiling is van de banken dicht bij de kust en naar de kust toe werd ook al aangegeven in het QUEST4D Project (Van [Lancker et al., 2012](#)). De gevoeligheid van de modelresultaten voor veranderingen in de bathymetrie moet hier dus verder onderzocht worden. Bijkomende bathymetrische opnames, zowel historische als nieuwe, in een ruimere zone zullen wenselijk zijn.
- Calibratie/validatie van het kuststrookmodel aan de hand van het opleggen van gemeten spectra op locatie Westhinder alsook gemeten windsnelheden op Westhinder. Dit onderdeel bevat ook de gevoeligheidsanalyse voor de dissipatiebrontermen (bodempwrijving en diepte-geïnduceerde breking) in het spectraal golfmodel en de interpretatie van die analyse. Het spreekt vanzelf dat hiervoor een zo nauwkeurig mogelijke bathymetrie nodig is.
- Conclusie opstellen in verband met de golfdissipatieprocessen en hoe ze benaderd worden in het golfmodel.
- Opstellen en doorrekenen van een beperkt aantal scenarios om het dissipatie-effect van zandbanken op de golfenergie te begroten. Deze scenarios zullen in onderling overleg met de opdrachtgever uitgewerkt worden.

5. Referentielijst

- Luyten P.J., Jones J.E., Proctor R., Tabor A., Tett P. and Wild-Allen K., 1999. COHERENS —A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas: User Documentation. MUMM Report, Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea, 914 pp.
- Mathys P., De Rouck J., Fernandez L., Monballiu J., Van den Eynde D., Delgado R., Dujardin A.. (2011. http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/BOREAS%20Finaal_rapport_ML.pdf (last accessed August 22, 2012)). *Belgian Ocean Energy Assessment (BOREAS). Final Report*. Brussels: Brussels : Belgian Science Policy ((Research Programme Science for a Sustainable Development)).
- Simulating WAves Nearshore (SWAN) version 40.91. Retrieved from <http://swanmodel.sourceforge.net>. accessed 2012, September 7.
- Van Lancker, V., Baeye, M., Du Four, I., Janssens, R., Degraer, S., Fettweis, M., Francken, F., Houziaux, J.S., Luyten, P., Van den Eynde, D., Devolder, M., De Cauwer, K., Monballiu, J., Toorman, E., Portilla, J., Ullman, A., Liste Muñoz, M., Fernandez, L., Komijani, H., Verwaest, T., Delgado, R., De Schutter, J., Janssens, J., Levy, Y., Vanlede, J., Vincx, M., Rabaut, M., Vandenberghe H, Zeelmaekers, E, and Goffin, A. (2012). QUantification of Erosion/Sedimentation patterns to Trace the natural versus anthropogenic sediment dynamics (QUEST4D). Final Report. Science for Sustainable Development. Brussels: Belgian Science Policy, 97 pp. + Annexes.
- Van Lancker, V., Deleu, S., Bellec, V., Du Four, I., Verfaillie, E., Fettweis, M., Van den Eynde, D., Francken, F., Monballiu, J., Giardino, A., Portilla, J., Lanckneus, J., Moerkerke, G. & Degraer, S. (2005). Management, research and budgeting of aggregates in shelf seas related to end-users (Marebasse). Scientific Report Year 3. Belgian Science Policy, 103 p.

APPENDIX

Tabel 1 Karakteristieken van de verschillende rekenroosters (voor de sferische grids geven dx en dy benaderende afmetingen voor de resolutie van het rekenrooster ter hoogte van het Belgisch Continentaal Plat).

<i>Benaming rooster</i>	<i>CSM</i>	<i>NOS</i>	<i>BCZ</i>	<i>C_24</i>	<i>N1_24</i>	<i>F1_24</i>	<i>BCZ</i>	<i>CG</i> <i>(kuststrookmodel)</i>
Model	COHERENS	COHERENS	COHERENS	WAM	WAM	WAM	SWAN	SWAN
NC	302	158	181	48	156	180	180	380
NR	338	206	134	92	204	133	133	144
Xo (in °)	-12.042	-4.042	2.077	-12.000	-4.000	2.083	2.083	438,100
Yo (in °)	47.979	48.479	50.997	48.000	48.500	51.000	51.000	5,639,000
dx (in °)	0.0833	0.0833	0.0119	0.5000	0.0833	0.0119	0.0119	
Dy (in °)	0.0417	0.0417	0.0069	0.2500	0.0417	0.0069	0.0069	
Xend (in °)	13.042	9.042	4.220	12.000	9.000	3.750	3.750	564,100
Yend (in °)	62.021	57.021	51.920	71.000	57.000	51.917	51.917	5,678,000
dx (km)	[7.8]	[7.8]	[0.8]	[46.8]	[7.8]	[0.8]	[0.8]	[0.3]
dy (km)	[4.6]	[4.6]	[0.5]	[27.6]	[4.6]	[0.5]	[0.5]	[0.3]
1/dx (graden)	12	12	84	2	12	84	84	
1/dy (graden)	24	24	144	4	24	144	144	
Aantal rekencellen	102,076	32,548	24,254	4,416	31,824	23,940	23,940	54,720
gridverdraaiing (in °)	0	0	0	0	0	0	0	25.5

Tabel 2. Statistische parameters model WAM medium rooster op locatie Westhinder.

	Westhinder - 2005 - WAM vs Observation - N1_24 grid															
	HS_ukmo_factor 1.1				Tm02_ukmo_factor 1.1				HS_interim_factor 1.0				Tm02_interim_factor 1.0			
	Bias	RMSE	Scatter	Coef. C.	Bias	RMSE	Scatter	Coef. C.	Bias	RMSE	Scatter	Coef. C.	Bias	RMSE	Scatter	Coef. C.
Jan	-0.02	0.27	0.16	0.93	-0.33	0.54	0.11	0.81	-0.02	0.26	0.16	0.93	-0.14	0.36	0.08	0.89
Feb	-0.01	0.25	0.21	0.95	0.14	0.87	0.19	0.51	-0.05	0.24	0.2	0.95	0.12	0.63	0.14	0.75
Mar	0.05	0.25	0.34	0.85	-0.15	0.56	0.13	0.78	0.04	0.27	0.37	0.81	-0.1	0.48	0.11	0.83
Apr	-0.05	0.18	0.28	0.88	-0.23	0.64	0.16	0.65	-0.05	0.18	0.29	0.86	-0.24	0.57	0.14	0.77
May	-0.05	0.21	0.24	0.9	-0.02	0.88	0.21	0.4	-0.07	0.25	0.28	0.86	-0.14	0.62	0.15	0.63
Jun	-0.16	0.24	0.3	0.9	-0.18	0.73	0.18	0.51	-0.14	0.23	0.29	0.89	-0.26	0.61	0.15	0.67
Jul	-0.17	0.27	0.31	0.82	-0.26	0.62	0.15	0.66	-0.18	0.27	0.31	0.83	-0.27	0.52	0.12	0.81
Aug	-0.18	0.23	0.28	0.93	0.04	1.03	0.24	0.44	-0.13	0.21	0.25	0.92	-0.15	0.53	0.12	0.83
Sep	-0.19	0.29	0.37	0.91	0.2	1.28	0.31	0.37	-0.15	0.25	0.33	0.92	-0.14	0.59	0.14	0.7
Oct	-0.12	0.24	0.27	0.91	-0.41	0.7	0.18	0.57	-0.08	0.21	0.24	0.91	-0.26	0.45	0.11	0.83
Nov	-0.11	0.28	0.25	0.87	-0.24	0.59	0.14	0.57	-0.1	0.24	0.22	0.9	-0.14	0.37	0.09	0.83
Dec	-0.11	0.25	0.21	0.92	-0.26	0.52	0.12	0.71	-0.13	0.23	0.19	0.94	-0.24	0.4	0.09	0.87
Ave.	-0.09	0.25	0.27	0.90	-0.14	0.75	0.18	0.58	-0.09	0.24	0.26	0.89	-0.16	0.51	0.12	0.78

Tabel 3 Coördinaten van de 10 randpunten in het SWAN kuststrookmodel. De randpunten zijn ook aangeduid in Figuur 3.

point	longitude (degree)	latitude (degree)	x (m) UTM 31	y (m) ITM 31
CGBP01	2.002200	51.05410	430,067	5,656,315
CGBP02	1.938116	51.13164	425,700	5,665,000
CGBP03	3.557850	51.64356	538,600	5,721,542
CGBP04	3.587677	51.60313	540,700	5,717,062
CGBP05	1.880299	51.21691	421,799	5,674,542
CGBP06	2.182234	51.30895	443,000	5,684,500
CGBP07	2.450111	51.38875	461,738	5,693,200
CGBP08	2.737471	51.47696	481,768	5,702,900
CGBP09	3.098026	51.58242	506,792	5,714,600
CGBP10	3.505981	51.70065	534,967	5,727,866

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2014. *Monitoring Broersbank – Concept modelling*. Broersbank_212176_N02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 17-10-2014.